

IoT를 이용한 상수도관의 효율적인 수압 측정 시스템

An Efficient Water Pressure Measurement System of the Water Pipes using IoT

이재수* · 최인호** · 홍권의** · 최학윤** · 노희정** · 안정근***

* 주저자 및 교신저자 : 김포대학교 정보통신과 교수

** 공저자 : 김포대학교 정보통신과 부교수

*** 공저자 : 경북대학교 지능로봇과 부교수

Jae-soo Lee* · In-ho Choi* · Kwon-eui Hong* · Hak-yun Choi* ·
Hee-jung Roh* · Jeong-keun Ahn**

* Dept. of Information and Communication, Univ. of Kimpo

** Dept. of Intelligent Robot, Univ. of Kyungbuk

† Corresponding author : Jae-soo Lee, jslee@kimpo.ac.kr

Vol.17 No.1(2018)

February, 2018

pp.114~122

ISSN 1738-0774(Print)

ISSN 2384-1729(On-line)

<https://doi.org/10.12815/kits.2018.17.1.114>

2018.17.1.114

Received 12 December 2017

Revised 4 January 2018

Accepted 16 January 2018

© 2018. The Korea Institute of
Intelligent Transport Systems. All
rights reserved.

요약

본 논문은 맨홀 아래 지하에 매설된 상수도관의 수압을 효율적으로 측정하기 위하여 무선 통신 모듈을 내장한 수압센서(IoT)를 모든 상수도관 밸브에 설치하여 수압을 측정하도록 하였다. 측정된 데이터는 무선 통신으로 스마트폰에 전송하고 스마트폰은 수신한 데이터를 다시 서버로 전송하여 저장하고 관리할 수 있도록 하는 새로운 수압측정 시스템을 제안하였다. 담당자들은 서버에 저장된 수압 데이터를 원격에서 조회하여 상수도관의 누수 여부나 관리 지역 내의 수압의 적정성 여부 등을 확인하여 이상 여부를 체크할 수 있도록 함으로써 상수도관의 수압을 효율적으로 관리할 수 있다.

핵심어 : 사물 인터넷, 수압 측정, 상수도관, 스마트폰 웹, 블루투스 모듈

ABSTRACT

In this paper, we propose new water pressure measurement system to measure the water pressure of water pipe laid underground beneath the manhole efficiently. For this purpose, we installed water pressure sensor(IoT) which has built-in bluetooth module at valve of water pipe. The proposed system can be managed through collected data which measured at sensor and then transmitted to smart phone through bluetooth connectivity and re-transmitted to server on this system. By checking out water pressure data stored in server from remote location, the persons in charge can confirm the leakage of water pipe or propriety of water pressure in management area. By this procedure, they can detect the existence of condition of water pipe and manage water pressure of water pipe efficiently.

Key words : IoT(Internet of Things), Water Pressure Measurement, Water Pipes, Smart phone Application, Bluetooth Module

I. 서 론

먼 옛날부터 인간은 물이 흐르는 강 주변에서부터 문명이 태동되어 강을 중심으로 모여 살게 되었고, 많은 사람들이 모이면서 도시로 발전해 현재에 이르렀다. 그만큼 인간에게 물은 생명의 근원으로서 없어서는 안 되는 중요한 것이다. 이와 같이 생명의 근원인 먹는 물의 수질유지 및 수송을 담당하는 상수도 관로는 현재 전국적으로 방대한 망으로 구성되어 있다. 따라서 이 상수도 관로의 효율적인 시설관리야 말로 매우 중요하며, 상수도 시스템이 도입되고 부터 상수도관 망을 효율적으로 구축하고자 하는 많은 연구(Stinson, 1983; Deb et al., 1995; Kwak and Lee, 2003)가 있어 왔다.

맨홀 아래 지하 수 미터 아래에 매설되어 있는 상수도관은 현재 정부가 이들을 데이터베이스화 하여 지자체에서 관리하고 요금을 부과하는 형식을 취하고 있다. 이 상수도 관에 문제가 발생하였는지를 관리하기 위해서는 수압을 주기적으로 측정한 후, 이 측정값이 기준치 이하 혹은 이상의 경우 문제가 있다고 판단하여 이후 필요한 조치를 취할 수 있도록 관리하고 있다.

물을 안정적으로 공급하기 위해서는 상수도관의 관리가 매우 중요하다. 다시 말해 식수의 안정적 공급뿐만 아니라 수질의 안정성을 보장하고 적정한 수압 등을 유지하여 상수도관을 최적으로 유지 관리할 수 있도록 상수도관 관리 시스템을 구축하는 것이 상수도관 관리 목표이다. 즉 평상시 수압의 균등성 유지를 위해 상수도관로를 최적으로 유지하는 것이 매우 중요하다. 따라서 상수도관에서 수압의 균등성 유지는 매우 중요한 항목이기 때문에 상수도 시설기준 유지관리 항목에서 수압을 측정하는 간격에 대하여 설명하고 있는데, ‘배수조정을 위해 수압 및 수량 측정을 이용하여 관망 주요지점에서 항상 측정하고 기록해서 장래에 참고자료로 보존해 두어야 한다.’라고 명시되어 있다.

상수원에서 정수된 수도물을 각 가정으로 보내기 위해서는 높은 수압으로 보내야만 멀리 떨어진 각 가정까지 원활하게 수도물을 공급할 수 있다. 이때 공급되는 수도관의 수압이 너무 낮으면 각 가정에서 물이 잘 나오지 않게 되고, 수압이 너무 높으면 수도관에 파열이 생길 수 있다. 그러므로 상수도관은 항상 적절한 압력의 수압 유지가 필수적이며, 상수도 관로의 주요 지점에서 상수도관의 압력이 항상 적정하게 유지되는지를 감지하여 관리하는 것이 필수적이다.

이를 위해서 현재는 주로 상수도 관망에 수압센서를 장착하고 PC에 유선으로 연결하여 온라인으로 모니터링하고 있다. 그러나 이 유선 접속방식의 수압측정은 긴 통신선로 연결과 전원공급 문제로 설치가 어렵고 비용이 많이 발생한다. 이러한 문제점을 해결하고 상수도관을 효율적으로 관리하기 위해 설치가 쉽고 가격이 저렴하며, 운용 방법이 간단하여 유지비가 적게 드는 방법(Kwak and Lee, 2003)들이 연구되고 있다.

본 연구에서는 맨홀 아래 수 미터 지하에 매설된 상수도 관망의 수압을 효율적으로 측정하고 관리하기 위하여 블루투스 모듈을 내장한 수압센서(IoT Sensor)를 모든 상수도관의 밸브에 설치한 후, 수압측정을 원할 때는 상수도관 밸브 주변에 간단한 충격을 주어 충격센서가 작동하면 평상시 슬립모드(sleep mode)에 있던 수압센서 보드가 동작하여 수압을 측정하도록 하였다. 그리고 측정된 데이터는 블루투스 통신(Jei and Yang, 2011; Choi et al., 2013)을 통하여 스마트폰으로 전송하고 스마트폰은 수신한 데이터를 다시 서버로 전송하여 서버에 저장하고 관리하는 시스템을 제안하였다.

이 제안 시스템을 이용하면 상수도관 관리 담당자들은 서버에 저장된 수압 데이터를 원격에서 조회하여 상수도관의 누수 여부나 관리지역 내의 수압의 적정성 여부 등을 체크할 수 있어 상수도관에 문제 있는지를 확인할 수 있도록 하였다. 또한 서버에 있는 상수도관 수압 관련 데이터를 사무실에서 PC로 조회 할 수 있을 뿐만 아니라 스마트폰에서도 이 데이터의 검색 및 조회 등이 가능하도록 하여 담당자가 상수도관 업무를 매우 효율적으로 관리할 수 있도록 개발하였다.

II. 개발 목표

현재 상수도관 수압측정 방식은 PC에 유선으로 연결하여 온라인으로 모니터링하고 있으며, 밸브 관리는 맨홀을 열고 관리용 긴 봉을 이용하여 밸브를 On/Off 하여 수압을 관리하고 있다. 이 유선 접속 방식은 앞에서 언급한 바와 같이 긴 통신선로 연결과 전원공급 문제로 설치가 어렵고, 고비용 및 유지보수가 어려운 문제가 있다. 따라서 기존 시스템의 유선 설치, 전원공급 및 유지보수 문제를 해결하기 위해서 <Fig. 1>과 같이 IoT 센서 네트워크와 사용자 스마트 폰을 이용한 무선방식의 효율적인 수압측정 관리 시스템을 제안하였다.

상수도관의 수압측정 시스템은 시스템 특성상 실시간으로 수압 데이터를 수집하는 것이 아니고, 필요(누수 의심지역 혹은 측정 주기에 도달한 밸브 등)에 따라 수압을 측정한다. 따라서 시스템은 배터리 소모(10년 이상 사용)를 최소화하기 위해서 평상시에는 슬립 모드로 있다가 수압측정이 필요할 때 동작하도록 제작하였다.

제안한 시스템에서 수압을 측정하기 위해서는 맨홀 뚜껑을 열고 기존의 수압밸브 관리용 긴 봉을 이용하여 밸브 주변에 간단한 충격(triggering)을 주어 슬립 모드의 수압센서를 깨워 수압을 측정하도록 하였으며, 수압 센서에서 측정된 수압 데이터를 블루투스 통신으로 사용자 스마트폰으로 보내고 스마트폰은 무선망을 통하여 관리 서버로 전송하도록 하였다. 그리고 수압 측정 시 항상 맨홀을 열린 상태에서 수압 센서와 스마트폰이 통신을 행하기 때문에 블루투스 무선 통신에도 문제가 없도록 설계하였다.

결국, 본 연구에서 제안한 IoT 수압 센서와 스마트폰을 이용한 상수도관의 효율적인 수압측정 및 관리 시스템은 기존에 사용 중인 유선 시스템에 비하여 설치, 관리 및 유지보수가 쉽고, 저렴하면서 운영이 편리하도록 개발하였다. 또한, 향후 지리정보종합관리시스템(GIS)과 연계 가능하도록 개발 목표를 정하여 개발하였으며 개발 목표를 정리해 보면 다음과 같다.

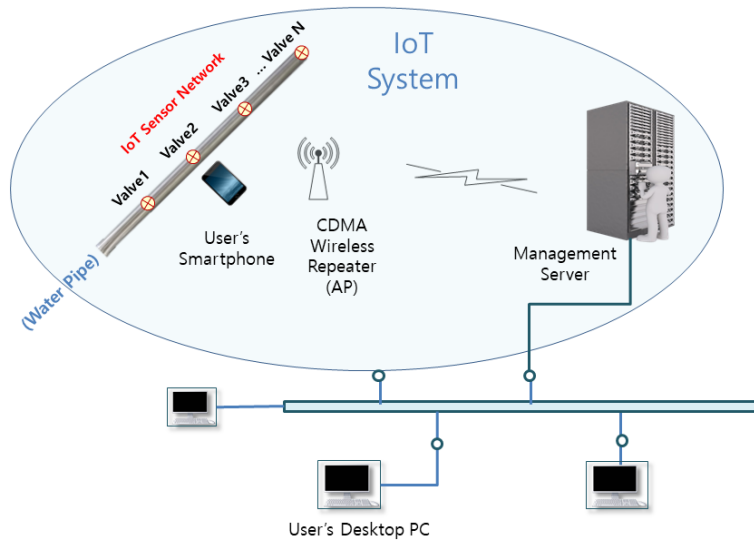
- 상수도관의 관리 및 설치가 쉽도록 배터리 및 무선통신 모듈을 사용하여 개발한다. (기존의 시스템은 전원공급 선 및 유선 데이터 통신선을 연결해야 하므로 설치비용 및 운용비용이 매우 크다.)
- 배터리 사용시간을 오래 유지하기 위해 수압 측정시만 동작을 하고 평상시에는 계속 슬립모드 상태를 유지하도록 개발한다.
- 현장에서 바로 수압측정이 가능하도록 사용자가 휴대한 스마트폰의 웹을 이용하여 수압 측정이 가능하도록 개발한다.
- 수압을 측정하기 위해서 사용자가 지하에 내려가지 않고 지상에서 간단한 충격 트리거 신호로 수압을 측정하고 블루투스 통신을 통해 사용자의 스마트폰으로 데이터 수신할 수 있도록 개발한다.
- 서버의 데이터를 조회 검색이 가능한 PC용 프로그램 및 스마트폰용 웹 프로그램 개발한다.

따라서 위 사항을 수용한 최종 개발목표는 상수도관의 수압측정을 위한 수압 센싱 기술이 필요하고, 무선 데이터 전송 기술을 적용하여 사용자가 원할 때 마다 현장에서 각각 밸브의 수압센서(IoT sensor network)로부터 즉시 수압측정이 가능하여야 하며, 측정된 데이터는 무선망을 통하여 서버에 저장하여 모든 담당자가 데이터를 공유하도록 개발하는 것이 최종 목표이다.

<Fig. 1>을 자세히 설명하면, 상수관 밸브의 수압측정이 필요(누수 의심지역 혹은 측정 주기에 도달한 밸브 등)한 경우 측정할 밸브가 있는 맨홀 뚜껑을 열고 기존에 있는 수압밸브 관리용 긴 봉을 이용하여 밸브 주변에 간단한 충격(triggering)을 주어 슬립 모드의 수압 센서(IoT sensor)를 깨워 수압을 측정하고, 이 측정된 수압 데이터를 블루투스 모듈의 무선 통신으로 사용자 스마트폰으로 전송한다. 사용자 스마트폰의 웹에서

수신한 수압 측정된 데이터는 CDMA 무선망을 통하여 중앙의 관리 서버에 보내 저장하여 모든 담당자가 이 데이터를 공유하고 검색할 수 있도록 하는 시스템이다. 이 과정을 전체 단계별로 보면 다음과 같다.

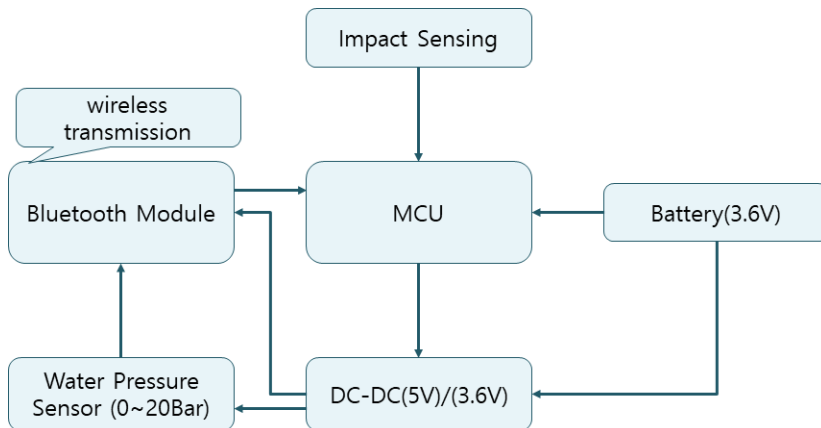
- 1단계 : 맨홀 뚜껑을 연다.
- 2단계 : 맨홀 안에 있는 밸브 관리용 긴 봉으로 간단한 충격(triggering)을 주어 수압 센서를 깨운다.
- 3단계 : 수압 센서에서 측정한 수압 데이터를 블루투스 통신으로 스마트폰에 전송한다.
- 4단계 : 스마트폰의 수압 데이터를 CDMA 무선망으로 중앙의 관리 서버로 전송한다.



<Fig. 1> The whole system

Ⅲ. 개발 내용

1. 개발 시스템의 구성도



<Fig. 2> Block diagram of proposed system

<Fig. 2>는 본 개발 시스템의 구성 블록도로서 수압 센싱부, 무선 통신부(블루투스), 동작 트리거링(충격센싱)부 및 전원부로 구성되어 있다.

수압 센싱부는 수압 센서를 통해 상수도관의 수압을 측정하고, 무선통신부(블루투스)는 측정된 수압을 블루투스 통신을 통해 스마트폰으로 전송하는 역할을 한다. 그리고 동작 트리거링(충격센싱) 부는 슬립모드(sleep mode)상태에서 깨어나 시스템이 수압측정을 개시하도록 신호를 보내주는 역할을 하고, 전원 부는 수압센서, 계측 및 통신 모듈 동작에 필요한 전원을 공급한다.

2. 개발 시스템의 주요 사양

개발 시스템의 주요 기능에서 수압측정 기능을 보면, 45msec 주기로 수압을 측정하고, 최소 10회 이상 측정값의 평균계산을 계산하되 평균값의 소수점 1의 자리까지 계산하도록 하였다. 또한 수압전송 기능을 보면, 1회 충격 시 블루투스 모듈을 통해 충격반응 무선 수압송신기 인식번호와 함께 1회 전송하고, 전송 실패 시 총 3회까지 재전송할 수 있도록 하였다. 그리고 각 부위별 전기적 규격을 보면, MCU는 PIC12f675(8bit)를 사용하였고, 사용 전원은 DC 3.6V 배터리를 사용하였다. 압력 센서의 동작 전원은 DC 5V, 블루투스 동작 전원은 DC 3.0V~3.6V 및 MCU 전원은 DC 2.0V ~ 5.5V를 사용하도록 설계 하였다. 또한, 1회 동작시 소비 전류는 100mA 이하로, 트리거 동작시간은 30초 이하로, 총 동작가능 횟수는 1,000회 이상할 수 있도록 하였다. 기타 동작 온도는 -20℃ ~ +60℃, 통신 방식은 블루투스 2.4G, 압력 센서는 전압형(0.5V~4.5V, ratiometric) 압력 센서를 사용하였고, 측정 압력은 0BAR에서 최대 20BAR까지 측정할 수 있으며 방진·방수가 가능한 생활방수 형태로 설계하였다.

IV. 운용 결과

제품에 사용한 블루투스 모듈을 내장한 수압 센서는 개발 목표를 구현하기 위하여 수압측정과 측정 데이터 전송을 위한 아날로그 측정 값 및 무선 데이터 전송 기술을 적용하여 개발하였다. 무선 통신 모듈이 내장된 수압 센서(IoT sensor)들을 통하여 수집된 데이터들은 이 센서 보드(메인 보드)에서 가공 처리한 후 수압 데이터를 무선으로 스마트폰에 전송하게 된다.

<Fig. 3>은 수압 센서 보드를 완제품으로 조립하여 장착한 최종 제품 상태를 보여주고 있다. 이 제품을 상수도 관로에 설치된 밸브에 장착하여 사용하게 된다.



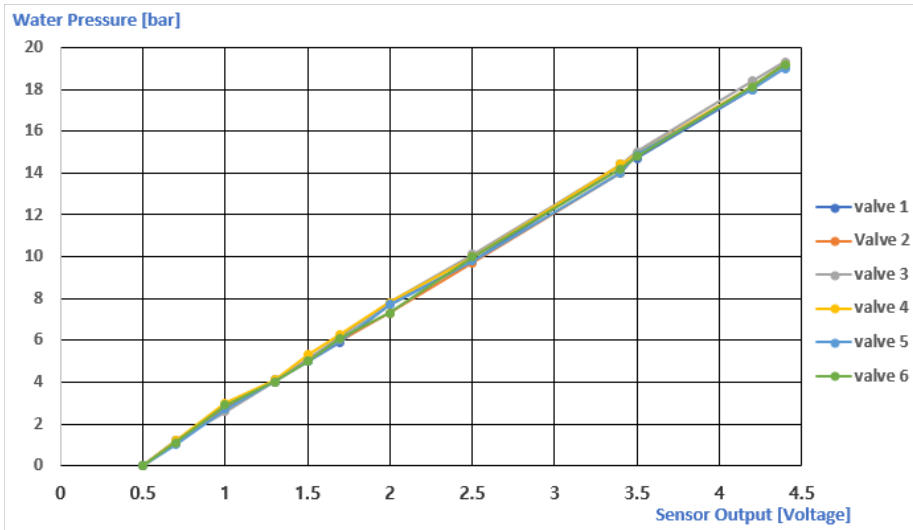
<Fig. 3> Complete product built-in main board

<Table 1>은 본 연구에서 제안한 시스템을 인천광역시 남동구와 부평구 일대에 시범적으로 설치하고 이

수압 센서의 출력 전압에 따른 수압 출력의 실제 데이터 값이다. <Fig. 4>는 <Table 1>의 데이터 값을 그래프로 그린 것으로 측정 데이터에서 수압 센서의 출력 전압에 따라 6개의 모든 밸브의 수압 출력 값(최대 측정 20bar)이 수압 센서의 출력 전압에 비례하여 오차 없이 동일하게 나타나고 있으며, 이 측정 데이터는 실제 기준 방식으로 측정된 값과 오차가 거의 없었다.

<Table 1> Data of Water Pressure Output for Sensor Output Voltage (bar)

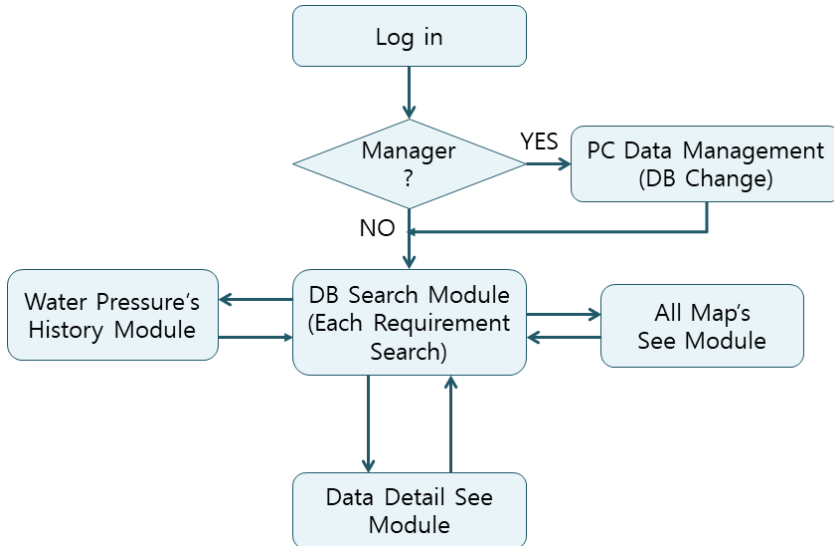
Sensor Voltage Valve No.	0.5	0.7	1.0	1.3	1.5	1.7	2.0	2.5	3.4	3.5	4.2	4.4
Valve 1 (S/N: 34567890)	0	1.2	2.7	4.1	5.0	5.9	7.7	9.8	14.4	14.7	18.0	19.2
Valve 2 (S/N: 45678901)	0	1.1	2.8	4.0	5.1	6.0	7.3	9.7	14.0	14.9	18.1	19.2
Valve 3 (S/N: 98765432)	0	1.2	2.6	4.0	5.1	6.2	7.8	10.1	14.4	15.0	18.4	19.3
Valve 4 (S/N: 67890123)	0	1.2	3.0	4.1	5.3	6.3	7.8	10.0	14.4	14.9	18.1	19.2
Valve 5 (S/N: 56789012)	0	1.0	2.7	4.0	5.0	6.0	7.7	9.8	14.0	14.9	18.0	19.0
Valve 6 (S/N: 89012345)	0	1.1	2.9	4.0	5.0	6.1	7.3	10.0	14.2	14.8	18.1	19.2



<Fig. 4> Water Pressure Output for Sensor Output Voltage

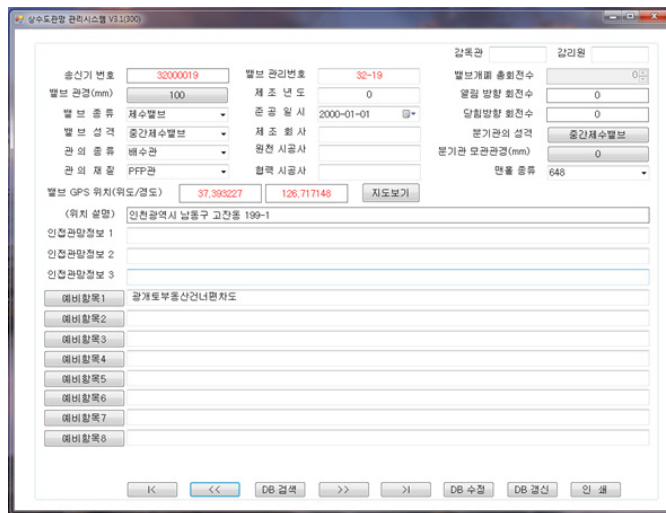
<Fig. 5>는 <Fig. 1>의 사용자 PC 환경에서 사용하는 개발 시스템의 실제 운영 예시이다. 각 모듈의 구성 요소를 보면, PC로 들어온 데이터를 변경하거나 추가하는 PC 데이터 관리 모듈(수신단말기 정보 포함, PC Data Management), 측정된 수압의 변동사항을 관리하는 수압이력 모듈(Water Pressure's History Module), 수압 센서가 장착되어 있는 지역별 전체 지도를 보여주는 전체지도 보기 모듈(All Map's See Module), 원하는 부분의 데이터를 자세히 보여 주는 데이터 상세히 보기 모듈(Data Detail See Module) 및 데이터 베이스를 조건별로 검색할 수 있도록 해주는 DB 조건별 검색 모듈(DB Search Module)로 구성되어 있다. 이 시스템에서 일반

사용자 및 관리자들이 PC에서 Log in하고 들어가면 일반 사용자인 경우에는 각 항목별 데이터를 조회하거나 검색이 가능하지만 정보의 변경은 불가능하다. 반면에 관리자의 경우에는 서버에 저장된 데이터를 스마트폰이나 PC에서 조회하거나 검색뿐만 아니라 위치정보 및 밸브정보에 대한 입력, 변경 및 설치장소 지도 표시 등의 기능을 포함하여 운용할 수 있다.



<Fig. 5> Management example of system

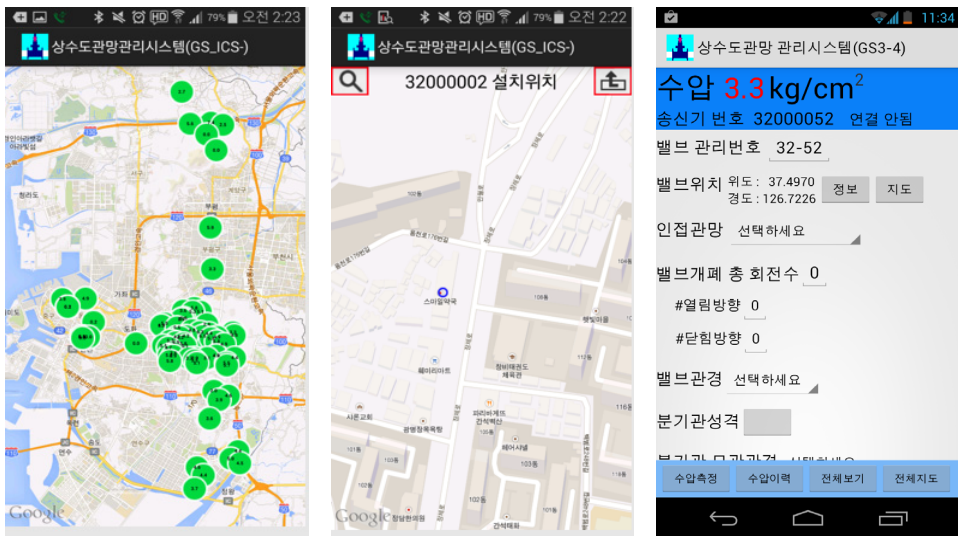
<Fig. 6>은 PC 환경에서 수압측정 시스템의 관리 밸브 데이터들을 검색한 화면으로 송신기 번호부터 밸브 관리번호 및 밸브의 GPS 위치정보까지 전반적인 관리 현황을 보여 주고 있다.



<Fig. 6> Search Display Screen in PC

<Fig. 7>은 상수도관 관리 스마트폰 웹 프로그램 화면이다. 관리자에게는 화면에서와 같이 본 프로그램을 통하여 서버에 저장된 모든 밸브의 수압과 기타 상수도 관로 정보를 보여 주며, 특정 밸브의 정보 검색, 또는 해당 밸브의 위치 정보(GIS 정보)를 지도에서 확인할 수 있다.

수압 측정을 원할 경우 맨홀 뚜껑을 열고 밸브 주변에 간단한 충격을 주면 수압 센서가 슬립모드에서 깨어나 무선 통신을 통해 자동으로 상수도관의 수압을 스마트폰으로 송신한다. 스마트폰이 수압측정에 성공하면 음성으로 수압을 출력하여 측정자가 쉽게 알 수 있도록 기능을 추가 하였으며, 이렇게 획득한 수압정보는 자동으로 데이터 센터 내의 전용 서버로 보내 저장되어 모든 관련자들이 함께 자료를 공유할 수 있도록 하였다.



<Fig. 7> Smart phone Web Screen for water pipe management

이 스마트폰 웹 프로그램 모듈의 특징을 보면 다음과 같다.

- 밸브내의 수압센서가 수압을 측정하여 무선 수압송신기가 송신기 번호 및 측정 수압을 송신하면 스마트폰은 이 무선 데이터를 수신하여 서버에 전송하고, 디스플레이에 표시함과 동시에 측정 수압을 음성으로 출력할 수 있도록 하였다.
- 측정된 수압의 전달 패킷 포맷은 시작비트(4바이트)+송신기번호(8바이트)+수압(4바이트)+체크섬(4바이트) 형태의 포맷으로 구성하였으며, 전달 패킷 포맷의 예시는 다음과 같다.
: ASCII(0000) + ASCII(12345678) + ASCII(12.3) + ASCII(XXXX)
- 밸브의 무선 수압송신기 설치시나 설치 위치 변경 시, 설치 현장에서 사용자로부터 관망 관리정보(밸브 관리번호, 밸브위치, 인접관망정보, 밸브개폐 총 회전수, 밸브의 현재 열림 방향 및 닫힘 방향 회전수, 밸브 관경, 분기관 성격, 분기관 모관관경, 밸브종류, 밸브성격, 제조년도, 제조회사, 원천시공사, 협력시공사, 준공일시, 관의 종류, 관의 재질, 맨홀 종류)를 입력 받아 서버에 전송하여 저장하고 디스플레이에 표시할 수 있는 메뉴를 포함하도록 하였다.
- 밸브의 설치위치 및 최종 측정수압을 지도상에 표시할 수 있어 낮은 수압지점(누수지점)이 어디에 분포되어 있는지 지도상에서 확인할 수 있다. 밸브 위치 정보와 해당 위치의 수압 정보를 동시에 제공하여

이를 기초로 누수 구역을 판단할 수 있도록 하였다.

- 밸브위치 지도 메뉴에서는 GPS를 통해 획득한 밸브 위치 정보를 현장에서 정확하게 실제 위치(GPS를 통해 획득한 밸브 위치)에 맞게 지도상의 지리정보로 저장할 수 있도록 하였다. 이 GPS 위치 정보는 사용자 기기에 내장된 안드로이드 OS에서 제공하는 위치정보를 가공 없이 그대로 이용한다.

V. 결 론

일반적으로 대부분 상수도관의 수압측정 및 관리 방법은 유선으로 연결된 PC를 활용한 온라인으로 측정하고 관리하므로 이러한 방법은 설치 및 유지보수에 많은 어려움이 있으며 이에 따른 고비용이 문제다. 따라서 이런 한 여러 가지 문제점을 해결하고 보다 효율적으로 상수도관을 관리하기 위해서 상수도관 밸브에 무선통신이 가능한 수압측정 센서(IoT sensor network)를 설치하고, 이 수압측정 데이터 및 상수도관의 상태를 스마트폰에 무선으로 송신할 수 있는 시스템을 연구하였다. 본 논문은 그동안 연구결과를 바탕으로 IoT와 스마트폰을 이용하여 설치, 관리 및 유지보수가 쉽고, 기존 시스템에 비해 관리 비용이 저렴하면서 운영이 편리한 매우 효율적인 수압 측정 및 관리 시스템을 개발하여 제품으로 상용화 했다는데 의의가 있다.

향후에는 저전력 블루투스(BLE 4.0, bluetooth low energy 4.0) 기술을 이용하여 평상시 슬립모드가 아닌 대기모드(초저전력)로 있다가 수압 측정을 원할 때 충격신호 대신에 스마트폰에서 트리거 신호를 보내 바로 무선 통신을 행할 수 있는 방식의 수압측정 시스템을 개발하고자 한다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 논문은 2017학년도 김포대학교의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

REFERENCES

- Choi I. H., Ahn J. K. and Lee J. S.(2013), "A Study on Development of Wireless Transceiver Module for Stereo Audio System," *J. KICS*, vol. 38D, no. 02, pp.57-61.
- Deb A. K., Hasit Y. J. and Grablutz F. M.(1995), "Distribution system performance evaluation," *AWWARF*.
- Jei H. W. and Yang O.(2011), "Implementation of the Monitoring System for Power Condition System(PCS) using a Smartphone and Bluetooth Communication," *J. KIICE*, vol. 16, no. 10, pp.2185-2192.
- Kwak J. P. and Lee H. D.(2003), "Application of Water Quality Monitoring for Corrosion Control in Water Distribution System," *KSEE, 2003 Spring Proc.*, pp.11-18.
- Stinson K. B.(1983), "Ensuring Water Quality in a Distribution System," *Journal of Environmental Engineering*, vol. 109, no. 2, pp.289-304.